

⑨ 日本国特許庁 (JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭59—6306

⑤ Int. Cl.<sup>3</sup>  
C 21 B 5/00

識別記号  
1 0 1

庁内整理番号  
Z 7602—4K

④ 公開 昭和59年(1984)1月13日

発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 8 頁)

⑭ 鉄鋼プロセスにおける高炉操業方法

① 特 願 昭57—113423

② 出 願 昭57(1982)6月30日

③ 発 明 者 木原久繼  
堺市築港八幡町1新日本製鐵株  
式会社堺製鐵所内

④ 発 明 者 高橋敏夫  
堺市築港八幡町1新日本製鐵株  
式会社堺製鐵所内

⑤ 発 明 者 松本清司

堺市築港八幡町1新日本製鐵株  
式会社堺製鐵所内

⑥ 発 明 者 川邊英夫

堺市築港八幡町1新日本製鐵株  
式会社堺製鐵所内

⑦ 出 願 人 新日本製鐵株式会社  
東京都千代田区大手町2丁目6  
番3号

⑧ 代 理 人 弁理士 青柳稔

明 細 書

1. 発明の名称

鉄鋼プロセスにおける高炉操業方法

2. 特許請求の範囲

(1) 自己発生エネルギーおよび外部供給エネルギーにより操業する鉄鋼プロセスの消費エネルギーを最小とする高炉操業条件を求め、該条件を指標として高炉を操業する方法において、

送風温度、送風湿度、吹込燃料量、吹込窒素量、吹込酸素量、その他を鉄鋼プロセス全体の消費エネルギー量を示す関数  $f(x)$  の変数  $x$  とし、該変数の単独の上、下限値および、ボッシュガス量、羽口先燃焼温度、炉芯推定温度、その他から定まる制限値を制約条件とし、該制約条件で定まる操業可能範囲内で改良型ネルダーミード法を適用して前記関数  $f(x)$  の最小値を求め、該最小値を満足する変数  $x$  の特定値を高炉操業指標とすることを特徴とする鉄鋼プロセスにおける高炉操業方法。

(2) 改良型ネルダーミード法を適用するに際して設

定する初期値を、変数  $x$  の上、下限範囲内を粗く分割し、その各格子点について関数  $f(x)$  の値を計算し、結果が最小となる変数  $x^*$  とすることを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の鉄鋼プロセスにおける高炉操業方法。

3. 発明の詳細な説明

発明の技術分野

本発明は、消費エネルギー最小化を図った鉄鋼プロセスにおける高炉操業方法に関する。

技術の背景

鉄鋼プロセスは外部供給つまり購買エネルギーを使用するだけでなく自身も副次的にエネルギーを生成する複雑なエネルギー供給体系を形成しており、中でも高炉はエネルギーを多量に消費、生成し、鉄鋼プロセス全体のエネルギーバランスに大きな影響を与える。即ち高炉は鉱石およびコークスを装填され、熱風および燃料を吹き込まれ、高炉ガスを発生し TRT (高炉炉頂圧回収タービン) を駆動、出力するが、高炉ガス (BFG) 発生量は BFG との混焼熱設備でのコークス炉ガス COG、液化

天然ガスLNG、転炉ガスLDGの各使用量を変化させ、鉄鋼プロセスのガスバランスに大きな影響を与える。また熱風送風量は、送風機が蒸気駆動の場合はガスバランスにまたその指図の電力従って購買電力量に、電動機駆動の場合は直接購買電力量に影響を与える。同様にTRT出力は購入電力量に、吹込燃料比は購入燃料に、コークス比は購入石炭量およびガスバランスに影響を与える。このように高炉は鉄鋼プロセス全体のエネルギーバランスに大きな影響を与えるので、鉄鋼プロセス全体の消費エネルギーを最小とする高炉操業方法を総合的、系統的に決定することは極めて重要である。

#### 従来技術と問題点

鉄鋼プロセス全体の消費エネルギーを最小とする高炉操業条件を求める従来の方法は、下記の2つの方法論に大別される。第1の方法は、与えられた原料条件、生産量を前提として、実行可能な送風温度、送風湿度、吹込燃料比等の高炉操業条件を数ケース決定したところで、高炉操業モデルによ

り各ケースの高炉操業諸元を算出し、この諸元を用いてエネルギー最適配分モデルにより全所のエネルギーバランスを算定した後、プロセス全体の消費エネルギーを算出する。ここで高炉操業モデルとは、高炉部門で計画値策定、操業解析等を使用している操業式により構成されている。またエネルギー最適配分モデルとは、各熱設備の必要熱量を満足し、かつ燃料使用枠、供給設備制約条件を満足するように、自家発生エネルギーと購入エネルギーの使用量を最経済的に決定するものである。

数ケースの高炉操業条件のそれぞれに対応する消費エネルギー量が求まると、これらを比較して、最小の消費エネルギーとなる特定ケースを最適高炉操業条件として決定する。また数ケースの消費エネルギーを比較検討し、必要ならば高炉操業者の経験にもとづき、より消費エネルギーを減少させると期待される新しい高炉操業条件を決定するものである。

第2の方法は、第1の方法に比べて、やや数理的アプローチを加えたもので、前記高炉操業モデ

ルとエネルギー最適配分モデルを単一のモデルに統合し、該モデルをTaylor展開により特定高炉操業点で線形近似した後、線形計画法(Linear Programming)により最適操業条件を求めるものである。

第1の方法の欠点は、明らかなように、本来連続した実行可能操業範囲の中で、離散的な限定された高炉操業条件に対応した消費エネルギーの比較しか行なえず、それが真の最小エネルギーとなる操業条件であるという保証はない。またこの方法で全ての実行可能領域内で最適解を探索しようとするれば、高炉操業条件を該全ての実行可能領域内に設定した一定間隔の格子点として与えた後に、それに対応する消費エネルギーを求めなければならない。計算回数は条件(変数)の次元数にともない指数的に増加し、たいへん効率が悪い。そこでこの方法では、無数となる格子点の探索を避けるために、高炉操業者の経験を拠り所として格子点を選定し、より消費エネルギーを減少させると期待できる新しい操業条件を求めることにしている。

しかし、高炉操業者が鉄鋼プロセスのエネルギーバランスを総合的かつ定量的に把握し、操業条件を系統的に更新することは現実的には難しいことである。

第2の線形化法の主要な欠点は、本来非線形モデルである高炉操業モデルを特定操業点で線形近似を行なうことである。これにより、実際には特定操業点近傍の操業範囲内での最適解の探索に限定されてしまう。さらに、高炉の操業度、操業方法、およびエネルギー需給構造が変化した際には、改めて特定操業点での線形近似を行なわなければならない。モデルの柔軟性に欠ける。また、送風湿度を加湿すべきか、脱湿すべきかの別個の異種の操業方法が存在する場合に、同時に1つの線形計画問題に定式化することは不可能であり、その為

#### 発明の目的

本発明はこれらを改善しようとするもの即ち実行可能な全操業範囲の内での真のエネルギー最小とする

高炉操業条件を見出す、所要演算回数は可及的に少ない、操業者の経験判断を解析要件とはしない、高炉操業及びエネルギー最適配分モデルは非線形のものでよい、条件変更柔軟に対処できる、高炉操業条件探索法を提供しようとするものである。

#### 発明の構成

本発明では、改良型ネルダ－ミード (Nelder-Mead) 法を応用して鉄鋼プロセスの消費エネルギーを最小とする高炉操業条件の探索を行なうことにより、高炉操業最適化問題の非線形性を損なうことなく、かつ高炉操業者の経験による操業点更新手続も必要とせず、全ての実行可能領域の中で最適操業条件を系統的に探索できるようにした。

NM法ではシンプレックスと呼ぶ $n$ 次元空間における $(n+1)$ 個以上の点を頂点とする幾何学的な図形を用い、このシンプレックスの各頂点の中で最悪の目的関数値をとる点の、残りの頂点の中心に関する鏡映点は目的関数値を改善することが期待できるという考え方をとり、またこの鏡映プロセスの他に目的関数の形状に応じて伸長、収

縮、縮小などの修正動作を加えて最適解の探索手段とする。このNM法は制約条件なし最適化問題に提案された手法であるが、これを制約条件つき最適化問題に拡張した手法が改良型NM法である。NM法の利点は最小化すべき目的関数 $f(\underline{x})$ を決定変数 $\underline{x}$ の関数形として明確に定義する必要はなく、また目的関数の局所的な最小化方向を与える偏微分係数などを計算する必要もなく、ただ任意の変数 $\underline{x}^i$ に対応した目的関数値 $f(\underline{x}^i)$ だけを算出、利用して最適点を探索できることにあり、複雑なエネルギー需給構造を有して単一の目的関数を定義しにくい鉄鋼プロセスでの解析に好適である。また高炉操業でも種々の操業制約条件があつてそれにより実行可能領域が規制されるので、NM法も改良型のそれに適する。

本発明では鉄鋼プロセス全体の消費エネルギーを最小とする高炉操業条件を求める問題は、数学的に、独立変数 $\underline{x} = x_1, \dots, x_n$ を変数とする目的関数 $f(\underline{x})$ を、 $l_j \leq x_j \leq u_j, j = 1, \dots, m$  ( $n < m$ ) の形の $m$ 個の制約条件下で最小化する問

題と考える。ただし、 $x_{n+1}, \dots, x_m$ は独立変数 $x_1, \dots, x_n$ の関数であり、制約条件の上、下限、 $u_j, l_j$ は定数とする。すなわち、

$$\min_{x_1, \dots, x_n} f(x_1, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$\text{subj. to } l_j \leq x_j \leq u_j \quad (2)$$

$$j = 1, \dots, n$$

$$l_j \leq x_j = h_j(x_1, \dots, x_n) \leq u_j$$

$$j = n+1, \dots, m \quad (3)$$

高炉操業最適化問題では目的関数 $f(\underline{x})$ は鉄鋼プロセス全体の消費エネルギー量である。決定変数 $\underline{x} = (x_1, \dots, x_n)$ は、送風温度、送風湿度、吹込燃料量、吹込窒素量、吹込酸素量などである。複数の高炉を有する鉄鋼プロセスにあつては、複数の高炉の各諸元が複合化して全所のエネルギーバランスに影響を与えるので、高炉別に最小化問題を定式化するのではなく、1つの問題として定式化しなくてはならない。したがって、決定変数 $\underline{x}$ の次元は、操業条件の数の高炉基数倍となる。高炉操業制約条件は、上記決定変数 $\underline{x}$ の上下限制約条件に加え、決定変数 $\underline{x}$ の関数 $h(\underline{x})$ の上下限

制約条件がある。 $h(\underline{x})$ としては、ボッシュガス量、羽口先燃焼温度、炉芯推定温度が高炉毎にある。以下に本発明の高炉操業指標を求める方法を説明する。

#### 発明の実施例

最初に記号を以下のように定義する。

$\underline{x}^k$ ;  $n$ 次元空間におけるシンプレックスの頂点 $k$ の座標 $(x_1^k, \dots, x_n^k)$

$\underline{x}^L, f^L$ ; シンプレックスにおける目的関数の最大点および $\underline{x}^L$ における $f(\underline{x})$ の値

$\underline{x}^H, f^H$ ; シンプレックスにおける目的関数の2番目の最大点、および $\underline{x}^H$ における $f(\underline{x})$ の値

$\underline{x}^S, f^S$ ; シンプレックスにおける目的関数の最小点および $\underline{x}^S$ における $f(\underline{x})$ の値

$\underline{x}^0, f^0$ ; 最悪点 $\underline{x}^L$ を除いたすべての頂点の中心、および $\underline{x}^0$ における $f(\underline{x})$ の値

(1) 初期配置: 制約条件つき問題では、シンプレックスの縮退を防止するために、シンプレックスの頂点の数は、 $K = 2n$ と多目にとる。 $m$ 個のすべての制約式(2), (3)を満たす初期点 $(x_1^0, \dots,$

$x_n^0$ )を与え、残りの $(K-1)$ 個の点は一様乱数を用いて

$$x_j = l_j + r_j(u_j - l_j), \quad j = 1, \dots, n \quad (4)$$

によって決める。ここで $0 \leq r_j \leq 1$ は一様乱数である。すなわち、初期配置の第1点は実行可能な高炉操業条件(例えば現状の操業条件)より定めるが、残りの $K-1$ 個の初期配置はシステムが生成する。(4)式により生成された試点 $\underline{x} = (x_1, \dots, x_n)$ が制約条件(4)を侵害するときにはその試点をすでに選ばれている点の集合(初期点を含む)の中心方向へ両点の中点まで後退させる。しかし、この後退プロセスをくりかえすとすでに選ばれた試点と差異のない試点が選ばれる可能性がある場合には、改めて異なる乱数にて(4)式により新しい試点を返すと良い。

$K$ 個の高炉操業条件の試点 $\underline{x}^i, i = 1, \dots, K$ が選ばれた後、第1図に図示するように高炉操業モデル及びエネルギー最適配分モデルを用いて、試点 $\underline{x}^i$ に対応した消費エネルギー量 $f$ を求める。すなわち先ず原料条件、生産量、エネルギー原単位等を

与件条件として高炉操業モデルより、 $\underline{x}^i$ に対応した高炉操業諸元を算出する。この時にボッシュガス量、羽口先燃焼温度、炉芯推定温度の制約条件値を始めとして、エネルギーバランスに直接的に関係する、BFG発生量、BFG生ガスカロリー、熱風炉所要熱量、燃料比、TRT出力等が算出される。次に前記高炉操業諸元と前記与件条件からエネルギー最適配分モデルを用いてプロセス全体のエネルギー最適配分を行なう。エネルギー最適配分モデルは、各工程の熱設備の所要熱量を満足し、かつ設備制約条件、購入燃料枠等を満足する中で、購入エネルギーと自家発生エネルギーの使用量を最経済的に決定するものである。こうしてプロセス全体のエネルギーバランスが算出された後に、消費エネルギー量を(購入エネルギー外販エネルギー)なるエネルギー収支として算出する。エネルギー種別としてはコークス(石炭)、電力、BFG、LDG、LNG、COG、重油類、工業用水等である。プロセス系内で発生し消費される酸素、窒素、蒸気等のエネルギーは、購入エネルギーの燃料、電力等のエ

ネルギー量で算出する。

以上のように、プロセス全体の消費エネルギー量は、高炉操業条件が1つ決まれば、一義的に計算されるわけで関数形 $f(\underline{x})$ を明確に定義する必要はない。初期配置の $K$ 個の操業条件 $\underline{x}^i, i = 1, \dots, K$ に対応した目的関数としての消費エネルギー量 $f^i, i = 1, \dots, K$ が求まると次にシンプレックスの更新手順を行なうが、その要領の概要を $n=2$ の簡単な例につき第3図を参照して説明する。

第3図で横軸は操業因子 $x_1$ 、縦軸は操業因子 $x_2$ を示し、 $l_1$ と $u_1$ 、 $l_2$ と $u_2$ は因子 $x_1, x_2$ の上下限である。曲線 $C_1, C_2, \dots$ は $x_1, x_2$ を種々変更した場合の関数 $f(\underline{x})$ の等高線で、 $M_{in}$ が最小値である。直線 $L_1, L_2$ は制約式 $h_j(x_1, x_2)$ の上、下限で、これらの上、下限値により制約されて $f(\underline{x})$ の値に許容できる範囲は第3図の斜線で囲った領域10内である。初期点 $\underline{x}^*$ は点1のように領域10内に選び、 $n=2$ であるからシンプレックスの頂点の数は $2n=4$ 、従って残り3点を一様乱数を用いて(4)式で

選び、これらが第3図の点2, 3, 4にあったとすると四角形1, 2, 3, 4がシンプレックスである。シンプレックスの4頂点のうち最も $f(\underline{x})$ が大であるものつまり最悪点は頂点1であるから、これを除いた2, 3, 4で構成される三角形をとり、その中心についての点1の鏡映点5を作る。次に四角形2, 3, 4, 5を取上げ、この中で最悪点は4であるからこれを除き、三角形2, 3, 5の中心に対する点4の鏡映点6を求める。以下同様であり、かゝる操作で点7, 8, 9...が求まり、点12に至って領域10の限界に達するので、これが求める最小点とする。実際の最小点 $M_{in}$ には至らないが、これは制約条件のためであり、こうして本方式によれば制約条件内で可及的に最小点へ接近することができる。しかも所要計算量は相当に少ない。なお鏡映とは対称軸に関して反対方向等距離の点を求めることを言うが、本法では必ずしも等距離にする必要はなく、同方向で適宜伸長縮小させてよい。次に前記の $K$ 個の操業条件の更新法を述べる。

(2) シンプレックスの更新: (1) シンプレックスの各頂点で目的関数値を比較し、最悪点  $x^L$  を、残りの頂点の中心

$$\underline{x}^G = \frac{1}{2n-1} \sum_{k=1, k \neq L}^{2n} \underline{x}^k$$

に関して、

$\underline{x}^R = (1 + \alpha) \underline{x}^G - \alpha \underline{x}^L$  (鏡映係数  $\alpha > 1$ ) … (4) により鏡映させ、試点  $\underline{x}^R$  を求める。  $\alpha$  は解くべき高炉操業最適化問題に応じて、適切に定める。鏡映によって得られた試点  $\underline{x}^R$  の関数値  $f^R$  が、  $f^S$ ,  $f^H$ ,  $f^L$  と比較してどこに分類されるか、ならびに制約条件を考慮してシンプレックスの伸長、収縮、縮小のいずれの修正動作をとるかを決める。

(ii)  $f^R \leq f^H$  の場合:  $\underline{x}^R$  が新しいシンプレックスで最悪点にならない場合であるので  $\underline{x}^R$  が許容点かどうかを判定する必要がある。  $\underline{x}^R$  が許容点かどうかを判定するためには、まず  $\underline{x}^R$  が操業条件自体の上下限制約を侵害しているかどうかを判定し、侵害していない場合には、  $\underline{x}^R$  に対応するボッシュガス量、羽口先燃焼温度、炉芯推定温度の制約条件

$h(\underline{x})$  を侵害しているかどうか判定し、同時に制約条件を満足していれば許容点とする。

$\underline{x}^R$  が許容点のとき:

①  $f^S < f^R \leq f^H$  の場合

$\underline{x}^L$  の代わりに  $\underline{x}^R$  を採用して探索を続行する。

②  $f^R < f^S$  の場合

$\underline{x}^R$  が新しいシンプレックスで最良点であるから、その方向で一層の改善が期待できる。それ故

$\underline{x}^E = (1 + r) \underline{x}^G - \alpha \underline{x}^L$  (伸長係数  $r > 1$ ) … (5) によって伸長する。伸長係数は問題に応じて適切に定める。伸長点  $\underline{x}^E$  における目的関数値  $f^E$  を計算する。  $f^E < f^R$  かつ  $\underline{x}^E$  が許容点のときには、  $\underline{x}^L$  の代わりに  $\underline{x}^E$  をとり、他の場合には  $\underline{x}^L$  の代わりに  $\underline{x}^R$  を採用し続行する。

$\underline{x}^R$  が許容点でないとき: 以下の許容化アルゴリズムを用いて、  $\underline{x}^R$  を許容化した  $\underline{x}^{Rf}$  を求めて、  $\underline{x}^L$  の代わりに採用する。

許容化アルゴリズム

(a) もし試点  $\underline{x}^R$  が上下限制約条件を満足しないならば、その独立変数  $x_j^R$  を適当な量 (たとえば、

上限が満たされていなければ  $u_j - 0.00001$ 、下限が満たされていなければ  $l_j + 0.00001$ ) だけ制約式の境界の内側へリセットする。

(b) もしボッシュガス量、羽口先燃焼温度、炉芯推定温度の制約条件 (3) を満足しないならば、試点  $\underline{x}^R$  を中心  $\underline{x}^G$  方向へ収縮率  $1/2$  で3回までもどして、許容点  $\underline{x}^{Rf}$  をみつける。それでも許容点が得られないならば、  $\underline{x}^G$  で許容かを判定し、なお許容点でないなら  $d\mathbf{x} = (\underline{x}^L - \underline{x}^G) / 10$  を計算し、  $d\mathbf{x}$  ずつ2回  $\underline{x}^G$  方向に探索する。その点でも許容でないなら、シンプレックスを、  $\underline{x}^S$  に向かって縮小する。縮小操作に関しては後述の (iii) の①の項で説明する。

さらに安定した収束性を確保するために目的関数値の小さいほうから  $K/2$  個の頂点を  $p = 1.8$  倍拡大した点  $\underline{x}_p^1$  ( $1 = 1, \dots, K/2$ ) をとり、  $\underline{x}^R$  を許容化した  $\underline{x}^{Rf}$  の関数値と比較して、最小の関数値を与える点を、  $\underline{x}^L$  の代わりに採用する。ただし、  $\underline{x}_p^1$  が許容点でないときは、  $\underline{x}^G$  に向かって  $1/3$  ずつ収縮する。

(iii)  $f^H < f^R$  の場合: 狭い谷や、最適点近傍で起こる状況で、試点  $\underline{x}^R$  が、新しいシンプレックスにおいても最悪点になる場合である。次の二つの場合にわけて考える。

①  $f^L \leq f^R$  の場合: 行き過ぎた  $\underline{x}^R$  をもどすのだが、  $f^L \leq f^R$  より、  $\underline{x}^L$  側の内分点のほうが、より小さい関数値を与えることが期待できるので、

$$\underline{x}^C = \beta \underline{x}^R + (1 - \beta) \underline{x}^L \quad (\text{収縮係数 } 0 < \beta < 1) \quad \dots \dots \dots (7)$$

によって  $\underline{x}^L$  側へ収縮を行い、  $\underline{x}^C$  を求める。  $\beta$  は問題に応じて適切に定める。  $\underline{x}^C$  が許容点のとき:  $\underline{x}^C$  における目的関数値  $f^C$  を計算する。もし、  $f^C < f^L$  なら収縮は成功で、  $\underline{x}^L$  の代わりに  $\underline{x}^C$  を採用する。もし、  $f^C \geq f^L$  なら、収縮は失敗で、シンプレックスを縮小する。ここで、縮小とは、シンプレックスの大きさが、問題に対して適正でない場合にとられる手法で、すべての頂点  $\underline{x}^R$  を  $\underline{x}^S$  に向かって  $1/2$  ずつ移動させて縮小したシンプレックスを作る。

$\underline{x}^C$  が許容点でないとき: 非許容領域を、シンプ

レックスが包んでいる場合で、シンプレックスを、制約領域の形状にあった適正な大きさに縮小する。

②  $f^k < f^l$  の場合:  $f^l > f^k$  であるので、 $x^k$  の側の内分点にもどすほうが、関数値の改善が期待できるので、

$$\bar{x}^c = \beta x^k + (1 - \beta) x^l \quad (0 < \beta < 1) \quad (8)$$

によって、 $x^k$  側へ収縮を行い、 $\bar{x}^c$  を求める。

$\bar{x}^c$  が許容点のとき: (5) の①と同様の処理を行う。

$\bar{x}^c$  が許容点でないとき: (8) のところで述べた許容化のアルゴリズムを用いて、許容な  $\bar{x}^c$  を見出し、 $x^l$  の代わりに採用する。

(3) 収束判定条件: シンプレックスの各頂点の目的関数値  $f(x^k)$  の標準偏差が  $\epsilon$  以下になったとき、最適点に収束したと考える。

$$\bar{f} = \frac{1}{2n} \sum_{k=1}^{2n} f(x^k) \quad (9)$$

$$\left( \frac{1}{2n} \sum_{k=1}^{2n} f(x^k) - \bar{f} \right)^2 < \epsilon \quad (10)$$

$\epsilon$  は問題に応じて適切に定める。

こうして得られた関数  $f(x)$  を最小とする変数  $x$  は高炉操業の指標となるものである。即ち高炉は消費エネルギー最小を条件としてのみ操業されるものではないから、実際には他の要件を加味しながら最適高炉操業が実行される。

上記操作の概略フローを第4図に示す。これらはプログラムに組んでおき、CRTディスプレイに表示されるガイダンスに従って所要データを入力すればよいようにする。第2図に機器構成を示す。この図で12は電子計算機、14はカード読取り機で、作成した多量のプログラムおよびデータの投入用である。16は補助メモリで、上記データ等を記憶する。18はCRTディスプレイで伝送装置および伝送線を介して計算機12へ接続され、またキーボード20およびハードコピー24と接続され、入力案内メッセージおよび入出力データ等の表示を行なう。22はプリンタである。案内メッセージは例えば次のように表示される。

\* OBJECTIVE FUNCTION FOR OPTIMIZATION \*

サイテキカ スペキ モクテキカンスウ ニハ  
1オ セット シ ソノダ ニハ 0オ セット  
シテクダサイ。

1. ENERGY COST (1) 2. TOTAL CALORIE (0)  
3. BF CALORIE (0)

本例では最適化すべき目的関数はエネルギーコストであり、この欄の括弧内にキーボード20を介して1をセットする。これでエネルギーコスト計算のプログラムが呼び出され、オペレータは案内メッセージに従って所要事項を入力し、やがて実行を指示して計算開始させる。

シンプレックスの更新に当たっては初期値  $x^*$  を決定する必要があるが、これには前述のように通常高炉操業で用いている値を採用するのが簡単であるが、これでは  $f(x)$  の最小値が容易に求まらないことがある。甚だしい場合は通常高炉操業で採用している値が既に第3図の許容範囲10を外れていることがある。初期値は正確に範囲内にありかつ迅速確実に最小値に収束させるには、粗い格子点で計算して、最小値に可及的に近い初期値を

LOWER AND UPPER CONSTRAINTS FOR BF MODEL

VARIABLES	LOWER VALUE		UPPER VALUE	
	1BF	2BF	1BF	2BF
MB (G/NM3)	(9.)	(9.)	(40.)	(40.)
TB (°C)	(1100.)	(1100.)	(1280.)	(1280.)
N2 (NM3/H)	(0.)	(0.)	(25000.)	(25000.)
O2 (NM3/H)	(0.)	(0.)	(25000.)	(25000.)
OIL.R (KG/T)	(0.)	(0.)	(50.)	(50.)
PCI.R (KG/T)	(0.)	(0.)	(50.)	(50.)
COG.R (KG/T)	(0.)	(0.)	(50.)	(50.)
TF (°C)	(2000.)	(2000.)	(2450.)	(2450.)
T* (°C)	(1450.)	(1450.)	(3000.)	(3000.)
UBOSH.PMAX (NM3/MIN)	(4070.)	(4070.)	(6000.)	(6000.)

得るとよい。そこで本発明では前記表のように表示して上下限設定を行なわせたあと、次のように表示して粗い格子点作成を行なう。

\*\*\*ソウギョウ ヘンスウ ノ ソウギョウ  
ハンイ ノ ブンカツスウ オ セッテイ シテ  
クダサイ\*\*\*

MB---(3) TB---(3) N2---(5) O2---(1)

OIL.R---(1) COAL.R---(1) COG.R---(1)

ここでMBは高炉送風湿度、TBは高炉送風温度でこれらはその範囲9~40、1100~1280を3分割することを示す。N2は吹込N<sub>2</sub>量、O<sub>2</sub>は吹込O<sub>2</sub>量、OIL.Rは吹込燃料比……であり、これらは5、1、1……分割することを示す。ここで、分割数を1と設定された変数は、該格子点作成に関与しない変数という意味である。こうして粗い格子点が作られ、計算機は各格子点についてf(x)本例では消費エネルギーを算出し、ディスプレイに表示してオペレータに選択させあるいはその最小のものを初期値x'に自動選択する。このような操作をすると最小値(許容範囲内の)に

収束しないというような問題はなくなる。次に具体例を挙げる。

前提条件：オールコークス操業、220kt-plant/month、高炉(BF)2基。送風湿度では1BPFが1100(1210)、2BPFが1100(1200)、送風湿度g/Nm<sup>3</sup>は1BPFが9(20)、2BPFが10(20)、吹込N<sub>2</sub>量Nm<sup>3</sup>/Hは1BPFが0(21000)、2BPFが3000(21000)、消費エネルギーMCAL/t-plantは3040(3110)。なお括弧内は初期値である。この初期でシンプレックスの更新を行ない、第5図に示すように探索回数20回前後で括弧左側の最適値を得、70MCAL/t-plantの削減ができた。これは2.25%の節減である。なおこの図の(a)の実線はカロリー、点線はコスト、(b)~(d)の点線は1BPF、実線は2BPFを示す。

#### 発明の効果

本発明によれば消費エネルギーを最小とする高炉操業因子即ち送風湿度、送風湿度、吹込燃料量、吹込窒素量、吹込酸素量の最適値が非線形モデルでかつ所要計算量が少なく容易に求まり、また初

期点として現状の操業点を与えれば、最適解探索過程で現状からどのように最適値を狙っていくべきかの操業指標を与えることができ、現時点の高炉状況を考慮した最善の高炉操業方法を容易に決定することができる。また鉄鋼プロセス全体の最適エネルギーバランスが容易に策定でき、目的関数値をプロセス全体のエネルギー費用とすれば、エネルギー費用を最小とする高炉操業方法を同様に求めることができる。消費エネルギー量とエネルギー費用を同時に最小とする高炉操業方法を求める場合には、消費エネルギーをf<sub>1</sub>、エネルギー費用をf<sub>2</sub>として目的関数値fを

$$f = wf_1 + (1-w)f_2 \quad (0 \leq w \leq 1) \quad (11)$$

なる重み係数wの線形和で定義し、fを最小とする高炉操業方法を同様に求めれば良い。重みwを1に近づければ消費エネルギーの最小化を重視する最適解が求まり、0に近づければエネルギー費用の最小化を重視する最適解が求まる。

#### 4. 図面の簡単な説明

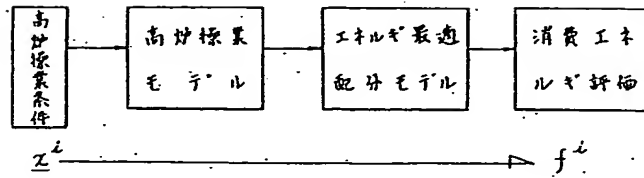
第1図は高炉操業条件から消費エネルギーを求める

要領を示す説明図、第2図は高炉操業指標を求める機器構成の概要を示すブロック図、第3図は改良型NM法の説明図、第4図は操業点の更新要領等を示すフローチャート、第5図はテスト結果の一例を示すグラフである。

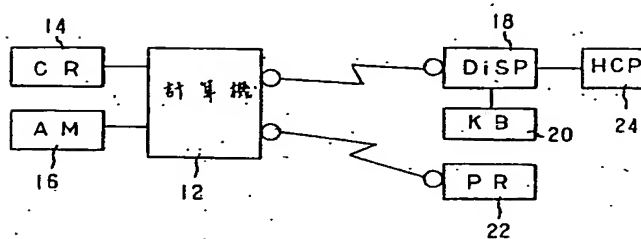
図面でx<sub>1</sub>、x<sub>2</sub>は変数、10は操業可能範囲、Minは最小値、1~4はNM法で用いるシンプレックスの一例である。

出 願 人 新日本製鐵株式会社  
代理人弁理士 青 柳 稔

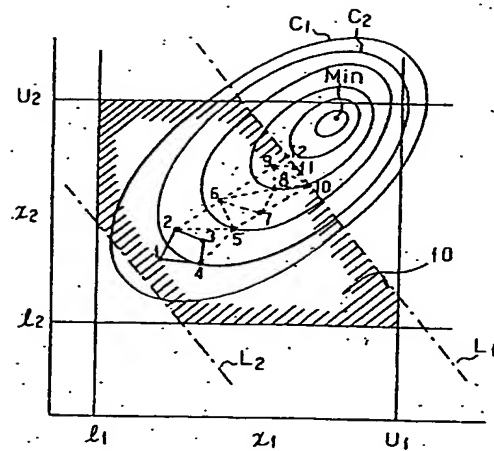
第 1 図



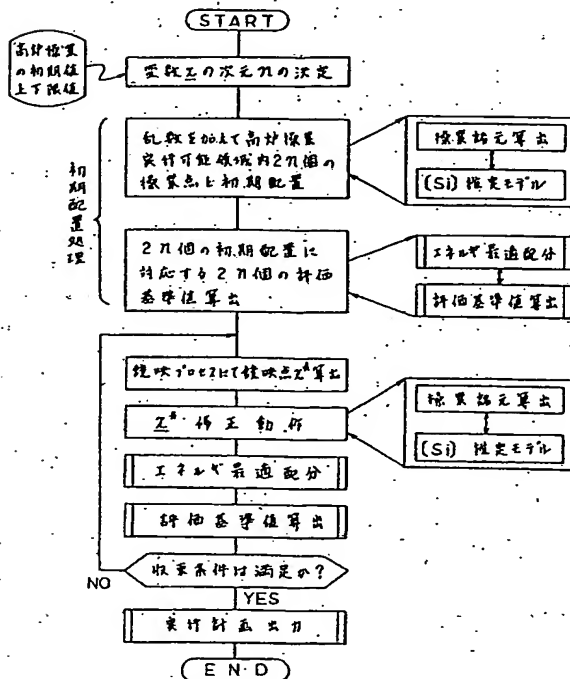
第 2 図



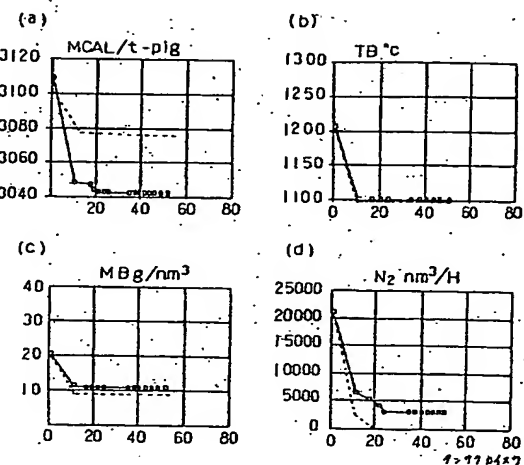
第 3 図



第 4 図



第 5 図





Abstract (Basic): JP 006306 A

Blast temp. and humidity, quantities of fuel, nitrogen and oxygen blown into furnace, etc. are assumed as the variable of the function indicating the total energy consumption of the process. The limiting values determined by the upper and lower values of the variable, bosh gas quantity, tuyere edge combustion temp., estimated furnace core temp., etc. are assumed as limiting conditions, and the min. value of the function is obtd. by an improved Nelder Mead method. The specific value of the variable satisfying the minimum value is used as an index for operation.

This method can obtain the optimum values of operation factors with nonlinear models by simple calculation, and contributes to energy consumption minimisation.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINE(S) OR MARK(S) ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**